ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ







Научная статья
УДК 614.84
https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-4-11

Изучение динамики рисков гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы с использованием сглаживания временных рядов

В. А. Маштаков, А. А. Кондашов, Е. В. Бобринев, Т. А. Шавырина, Е. Ю. Удавцова

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский Ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России» (ФГБУ ВНИИПО МЧС России) (г. Балашиха, Российская Федерация)

Введение. Исследование динамики риска гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы при выполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг. показало, что нередко возникают сложности, связанные с неоднородностью данных, их значительными колебаниями в разные периоды времени и влиянием случайных факторов.

Постановка задачи. В настоящей работе для изучения риска гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы при исполнении служебных обязанностей использованы методы сглаживания временных рядов (метод скользящего среднего и метод экспоненциального сглаживания), что позволило снизить влияние случайных факторов.

Теоретическая часть. Для выявления тенденций изменения рисков гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы использован метод сглаживания временных рядов. Рассмотрены методы скользящего среднего и экспоненциального сглаживания. Показано распределение рисков травматизма и гибели личного состава при выполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг., определены среднегодовые уровни рисков травматизма и гибели за этот период, рассмотрена динамика соотношения количества случаев травматизма и гибели в указанные годы.

Выводы. Количество регистрируемых случаев травматизма сократилось вследствие совершенствования системы управления охраной труда. За период с 2006 по 2021 гг. произошло снижение в 4 раза риска травматизма личного состава. Существенно уменьшилось (более чем в три раза) соотношение количества травмированных и погибших — с 31,5 до 9,4. Помимо этого, в результате совершенствования системы управления охраной труда уменьшилось количество травм с тяжелым и средним ущербом за счет перехода их в категорию травм с легким ущербом.

Ключевые слова: временной ряд, скользящее среднее, экспоненциальное сглаживание, травматизм, гибель, Федеральная противопожарная служба.

Для цитирования: Изучение динамики рисков гибели и травматизма личного состава Федеральной противопожарной службы с использованием сглаживания временных рядов / В. А. Маштаков, А. А. Кондашов, Е. В. Бобринев [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 3. — С. 4−11. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-4-11

Original article

Study of Death and Injury Risks Dynamics of the Federal Fire-Fighting Service Personnel Using Time Series Smoothing

V. A. Mashtakov, A. A. Kondashov, E. V. Bobrinev, T. A. Shavyrina, E. Yu. Udavtsova

The Badge of Honour Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (FGBU VNIIPO EMERCOM of Russia) (Balashikha, Russian Federation)

Introduction. Studies of risks dynamics of death and injury of the Federal Fire-Fighting Service personnel in the performance of official duties for a long period (from 2006 to 2021) have shown that difficulties often arise due to the heterogeneity of data, their significant fluctuations in different periods of time and the influence of random factors.

Problem Statement. In this paper, to study the risks of death and injury of personnel of the Federal Fire-Fighting Service of the State Fire Service in the performance of official duties, time series smoothing methods (the moving average method and the exponential smoothing method) were used, which made it possible to eliminate abnormal observations and reduce the influence of random factors.

Theoretical Part. To identify trends in the risks of death and injury of personnel of the Federal Fire-Fighting Service of the State Fire Service in the performance of official duties, the method of time series smoothing was used. The methods of moving average and exponential smoothing are considered. The distribution of the risks of injury and death of the personnel of the Federal Fire-Fighting Service of the State Fire Service in the performance of official duties for the period 2006-2021 is shown, the average annual levels of injury and death risks for this period are determined, the dynamics of the ratio of the number of cases of injury and death in these years is considered.

Conclusions. The number of registered cases of injuries has decreased due to the improvement of the occupational safety management system. During the period from 2006 to 2021, there was a reduction in the risk of injury to personnel by 4 times. The ratio of the number of injured and dead has significantly decreased (by more than three times) — from 31.5 to 9.4. In addition, as a result of occupational safety management system improvement, the number of injuries with severe and moderate damage has decreased due to their transition to the category of injuries with light damage.

Keywords: time series, moving average, exponential smoothing, injuries, death, Federal Fire-Fighting Service.

For citation: Mashtakov V. A., Kondashov A. A., Bobrinev E. V., Shavyrina T. A., Udavtsova E. Yu. Study of Death and Injury Risks Dynamics of the Federal Fire-Fighting Service Personnel Using Time Series Smoothing. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2022, no. 3, pp. 4−11. https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-3-4-11

Введение. При изучении различных показателей, характеризующих деятельность подразделений пожарной охраны, нередко возникают сложности, связанные с неоднородностью данных, их значительными колебаниями в разные периоды времени [1]. Распределение показателей на временной шкале можно рассматривать как временной ряд [2]. Важнейшей задачей при исследовании временных рядов является выявление и статистическая оценка основной тенденции развития изучаемого процесса и отклонений от нее.

При изучении временных рядов выделяют систематическую и случайную составляющую. Систематическая составляющая является результатом воздействия постоянно действующих факторов. Примером систематической составляющей временного ряда является тренд, который можно охарактеризовать как плавно меняющуюся компоненту, описывающую чистое влияние долговременных факторов, т. е. длительную тенденцию изменения признака.

Случайная компонента отражает влияние случайных факторов и может рассматриваться как случайный шум или ошибка, воздействующая на временной ряд нерегулярно.

Одним из наиболее распространенных методов исследования временных рядов является сглаживание [3], которое заключается в замене фактических значений на расчетные, которые характеризуются меньшей вариабельностью. Сглаживание применяют в тех случаях, когда тренд проявляется недостаточно

отчетливо. Для сглаженного временного ряда тенденция, как правило, проявляется более четко. Сглаживание временных рядов используется также для устранения аномальных наблюдений.

Среди наиболее распространенных методов сглаживания временных рядов можно выделить метод скользящего среднего и метод экспоненциального сглаживания.

Метод скользящего среднего [4] состоит в замене фактических значений временного ряда на средние значения по группе данных за определенный период, причем каждая последующая группа образуется путем сдвига на одну единицу времени. В представленном исследовании в качестве единицы времени используется год.

Для вычисления скользящего среднего используется формула:

$$\widetilde{w}_i = \frac{1}{3}(w_{i-2} + w_{i-1} + w_i)\,, \tag{1}$$

где w_i — исходное значение временного ряда в i-ом году. Недостатком данного метода является исключение из процедуры сглаживания двух первых значений временного ряда.

Этого недостатка лишен метод экспоненциального сглаживания [5], при котором в процедуре сглаживания используются взвешенные значения ряда в предыдущие годы, причем вес уменьшается по мере удаления от того года, для которого определяется сглаживаемое значение. Для вычисления сглаженного значения методом экспоненциального сглаживания используется формула:

$$\widetilde{w}_i = \begin{cases} w_i, & i = 1 \\ \widetilde{w}_{i-1} + \alpha(w_i - \widetilde{w}_{i-1}), & i > 1 \end{cases}, \tag{2}$$

где α — коэффициент сглаживания. В представленном исследовании он выбран равным 0,5.

Постановка задачи. Цель исследования состояла в изучении влияния совершенствования системы управления охраной труда (СУОТ) на снижение рисков гибели и травматизма личного состава ФПС ГПС (ФПС ГПС) при исполнении служебных обязанностей. В данной работе с использованием методов сглаживания временных рядов проведено изучение рисков гибели и травматизма личного состава при исполнении служебных обязанностей. Показатели гибели и травматизма личного состава ФПС ГПС за 2006–2021 гг. получены из банка статистических данных по заболеваемости, травматизму, инвалидности и гибели личного состава подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей [6].

Теоретическая часть. Риск гибели определяется по следующей формуле:

$$R_{\text{гиб}} = \frac{N_{\text{гиб}}}{N_{\text{л.с.}}}, \tag{3}$$

где $N_{\text{гиб}}$ — количество погибшего личного состава при исполнении служебных обязанностей за год, чел., $N_{\text{л.с.}}$ — среднегодовая численность личного состава, чел.

Риск травматизма определяется по формуле:

$$R_{\text{трав}} = \frac{N_{\text{трав}}}{N_{\text{л.с.}}}, \tag{4}$$

где $N_{\text{трав}}$ — количество травмированного личного состава при исполнении служебных обязанностей за год, чел.

На рис. 1 показано распределение риска травматизма личного состава ФПС ГПС при выполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг.

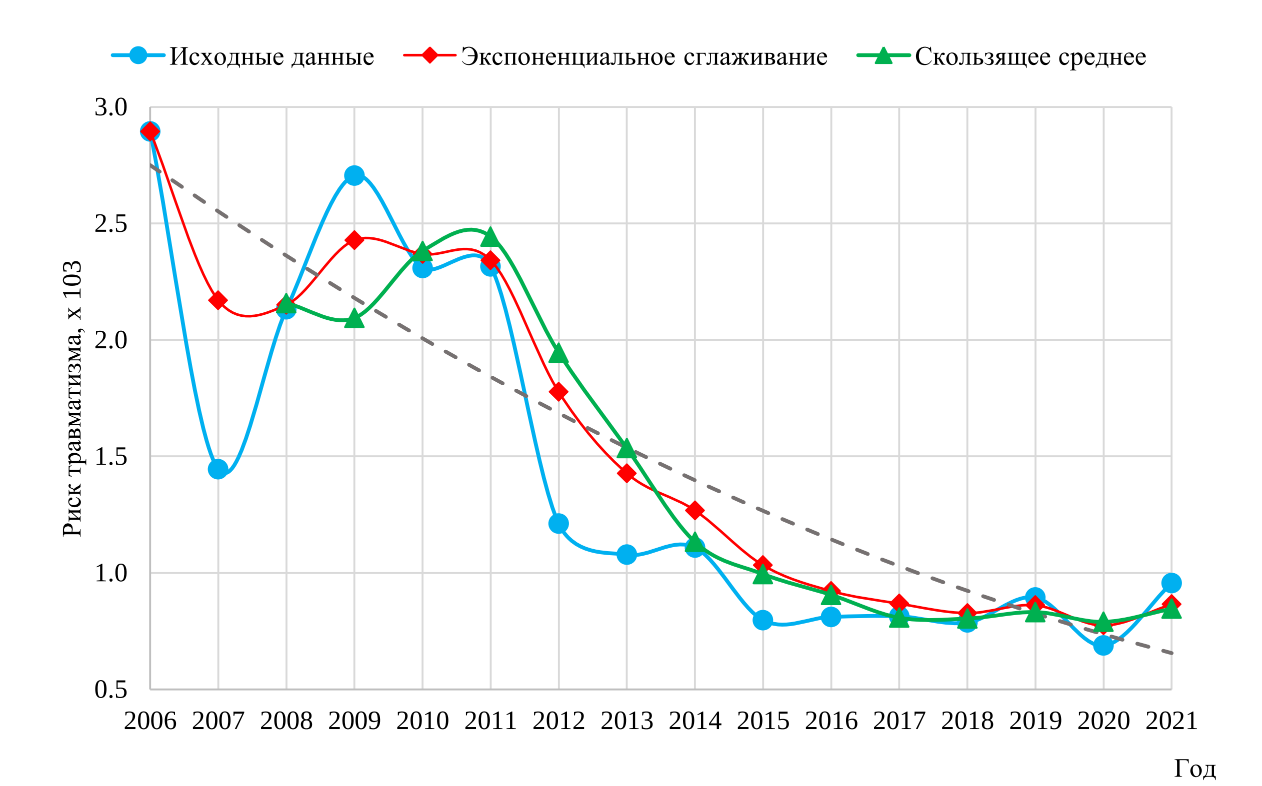


Рис. 1. Риск травматизма личного состава ФПС ГПС при выполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг. Штриховая кривая — аппроксимация методом наименьших квадратов

Среднегодовой уровень риска травматизма равен $1{,}43\times10^{-3}$. В период с 2006 по 2011 гг. риск травматизма личного состава ФПС ГПС существенно изменяется от года к году. Среднегодовой уровень риска травматизма за этот период составляет $2{,}30\times10^{-3}$. В период с 2011 по 2015 гг. наблюдается резкое снижение уровня травматизма. В последующие годы риск травматизма остается примерно на одном уровне — в среднем $0{,}82\times10^{-3}$.

Было выполнено сглаживание распределения риска травматизма методом скользящего среднего (показано на рис. 1 зеленым цветом). Как видно из рисунка, сглаженное распределение в отдельных точках достаточно сильно отличается от исходного распределения (например, в 2009, 2012 и 2013 гг.). Распределение, полученное методом экспоненциального сглаживания (показано на рисунке красным цветом), более точно воспроизводит исходное распределение. Поэтому в дальнейшем использовался именно этот метод сглаживания.

Проведена аппроксимация сглаженного распределения методом наименьших квадратов [7] с использованием полиномиальной функции 2-го порядка. Риск травматизма описывается функцией:

$$R_{\text{трав}} = (0{,}0042x^2 - 0{,}211x + 2{,}962\,) \times 10^{-3}, \tag{5}$$

где x — порядковый номер года ($x = 1$ соответствует 2006 году), коэффициент детерминации R^2=0,86. Как следует из зависимости (5), с 2006 по 2021 гг. произошло снижение риска травматизма в 4,2 раза — с $2{,}75\times10^{-3}$ до $0{,}66\times10^{-3}$.

Распределение риска гибели личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг. показано на рис. 2.

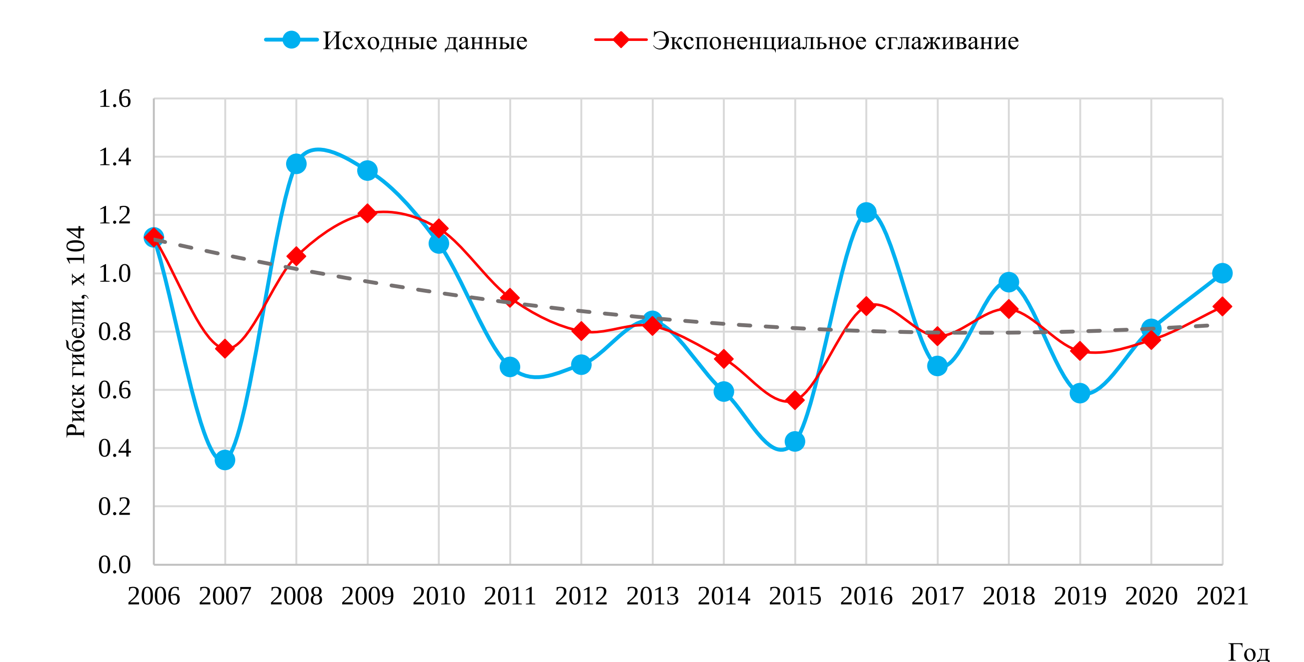


Рис. 2. Риск гибели личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг. Штриховая кривая — аппроксимация методом наименьших квадратов

Среднегодовой уровень риска гибели равен $0{,}86\times10^{-4}$. Риск гибели был максимальным в 2008 и 2009 годах, когда его значение достигало $1{,}38\times10^{-4}$. Затем произошло снижение риска гибели до $0{,}42\times10^{-4}$ в 2015 году. В последующие годы риск гибели вырос и достиг значений от $0{,}6\times10^{-4}$ до $1{,}2\times10^{-4}$.

Как видно из рис. 2, распределение риска гибели имеет существенную случайную компоненту, что приводит к значительным колебаниям его величины в разные годы. Для снижения влияния случайных факторов и выделения преобладающей тенденции было выполнено экспоненциальное сглаживание (показано на рис. 2 красным цветом). Сглаженное распределение описывается полиномиальной функцией 2-го порядка, полученной путем аппроксимации методом наименьших квадратов:

$$R_{\text{гиб}} = (0{,}0024x^2 - 0{,}046x + 1{,}015) \times 10^{-4}. \quad (6)$$

Коэффициент детерминации R^2=0,34. В соответствие с зависимостью (6), за период с 2006 по 2021 гг. риск гибели снизился на 24% с $1{,}12\times10^{-4}$ до $0{,}82\times10^{-4}$.

В международной и отечественной практике по изучению производственного травматизма используется понятие «пирамида несчастных случаев», когда на 1 случай травм с тяжелым ущербом приходится около 10 случаев травм со средним ущербом и 100 случаев травм с легким ущербом [8, 9]. Анализ случаев травматизма личного состава ФПС ГПС при выполнении служебных обязанностей показал [10], что в среднем на 1 случай травматизма с легким ущербом приходится 8 случаев травм со средним ущербом и 10 случаев травм с тяжелым ущербом. Такое соотношение может быть объяснено тем, что пострадавшие в основном уходят на больничный при получении средних и тяжелых травм. Поэтому легкий травматизм практически не регистрируется.

В связи с этим представляет интерес соотношение количества случаев травматизма и гибели личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей:

$$D = \frac{N_{\text{трав}}}{N_{\text{гиб}}}. \quad (7)$$

На рис. 3 показана динамика данного соотношения за период с 2006 по 2021 гг. Красным цветом показано распределение, полученное в результате экспоненциального сглаживания. Сглаженное распределение аппроксимируется полиномиальной функцией 2-го порядка:

$$D = 0{,}038x^2 - 1{,}89x + 27{,}57. \quad (8)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}85$.

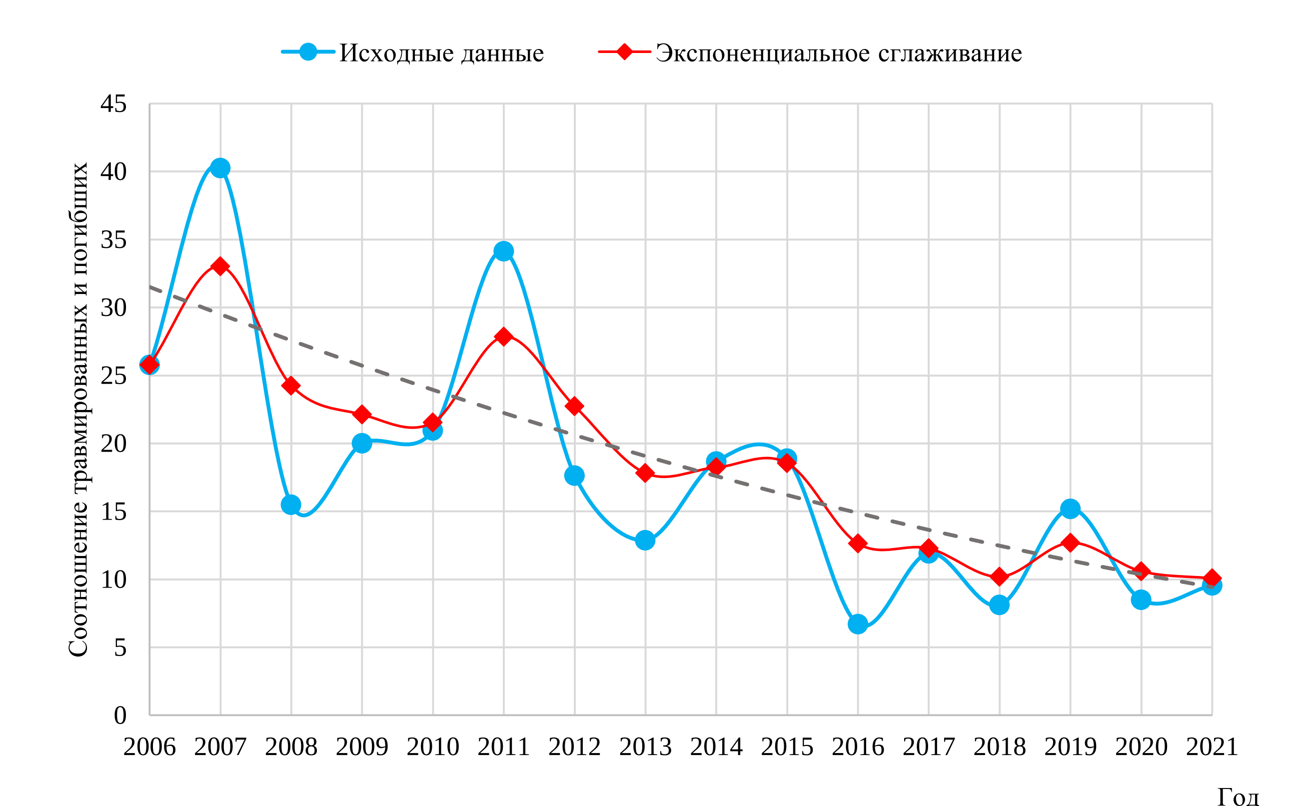


Рис. 3. Соотношение травмированного и погибшего при исполнении служебных обязанностей личного состава ФПС ГПС за период с 2006 по 2021 гг. Штриховая кривая — аппроксимация методом наименьших квадратов

За период с 2006 по 2021 гг. соотношение травмированных и погибших уменьшилось в 3,3 раза — с 31,5 до 9,4. Такое снижение может быть объяснено тем, что в результате совершенствования системы управления охраной труда, а именно, принятия нормативных правовых актов, в числе которых приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 13.12.2014 № 1100Н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы»[1], уменьшилось количество травм с тяжелым и средним ущербом (травмы с легким ущербом без временной утраты работоспособности не всегда фиксируются), в результате чего количество регистрируемых случаев травматизма сократилось.

Выводы. За период с 2006 по 2021 гг. соотношение травмированных и погибших уменьшилось в 3,3 раза — с 31,5 до 9,4. Такое снижение может быть объяснено тем, что в результате совершенствования системы управления охраной труда снизился риск травмирования с тяжелым и средним ущербом для здоровья. Не исключено, что этот риск уменьшился не до нулевого значения ущерба, а до уровня травмирования с легким ущербом.

Таким образом, проведено изучение рисков гибели и травматизма личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей за период с 2006 по 2021 гг. Для выявления тенденций изменения наблюдаемых зависимостей использован метод экспоненциального сглаживания. В 2006–2021 гг. среднее значение риска травматизма личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей составило $1{,}43\times10^{-3}$. За рассматриваемый период риск травматизма уменьшился в четыре с лишним раза. Для риска гибели личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей характерны значительные колебания от года к году, среднее значение риска гибели за рассматриваемый период составило $0{,}86\times10^{-4}$. Соотношение количества травмированного и погибшего личного состава ФПС ГПС при исполнении служебных обязанностей уменьшилось более, чем в три раза, что можно объяснить уменьшением количества средних и тяжелых травм в результате совершенствования системы управления охраной труда.

Для дальнейшей оптимизации СУОТ необходимо:

– осуществление постоянного контроля должностными лицами по охране труда в процессе исполнения личным составом служебных обязанностей инструкций по охране труда;

[1] Документ утратил силу в связи с вступлением в силу Приказа Министерства труда и социальной защиты РФ от 11.12.2020 № 881н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны»; применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников (ст.3 Федерального закона от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»).

– организация среди личного состава в системе служебной подготовки занятий по охране труда;

– регулярный мониторинг состояния травматизма и гибели личного состава при исполнении служебных обязанностей.

Библиографический список

1. Алексанин, С. С. Показатели профессионального травматизма и смертности у сотрудников Государственной противопожарной службы России (1996–2015 гг.) / С. С. Алексанин, Е. В. Бобринев, В. И. Евдокимов // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. — 2018. — № 3. — С. 5–25. https://doi.org/10.25016/2541-7487-2018-0-3-05-25

2. Кендэл, М. Временные ряды / М. Кендэл. — Москва : Финансы и статистика, 2015. — 200 с.

3. Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. — Москва : Финансы и статистика, Инфра-М, 2015. — 320 с.

4. What are Moving Average or Smoothing Techniques? / NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods // nist.gov : [сайт]. — URL: https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc42.htm (дата обращения : 16.03.2022).

5. Single Exponential Smoothing / NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods // nist.gov : [сайт]. — URL: https://www.itl.nist.gov/div898/20handbook/pmc/section4/pmc431.htm (дата обращения : 16.03.2022).

6. Банк статистических данных по заболеваемости, травматизму, инвалидности и гибели личного состава подразделений МЧС России при выполнении служебных обязанностей : св-во о гос. регистрации базы данных 2015621061 Рос. Федерация / А. А. Порошин, В. В. Харин, Е. В. Бобринев [и др.] ; ФГБУ ВНИИПО МЧС России. — № 2015620391 ; заявл. 17.04.2015 ; опубл. 13.07.2015.

7. Мазуров, Б. Т. Метод наименьших квадратов (статика, динамика, модели с уточняемой структурой) / Б. Т. Мазуров, В. А. Падве // Вестник СГУГИТ. — 2017. — Т. 22, № 2. — С. 22–35.

8. Карначев, П. И. Статистические показатели производственного травматизма, используемые в отечественной и международной практике оценки уровня безопасности труда / П. И. Карначев, Н. А. Винниченко, И. П. Карначев // Безопасность и охрана труда. — 2015. — № 2 (63). — С. 37–40.

9. Ворошилов, С. П. Травматизм. Функция распределения степени тяжести вреда здоровью среди работников / С. П. Ворошилов, А. С. Ворошилов // Безопасность и охрана труда. — 2014. — № 3 (60). — С. 55–59.

10. Кондашов, А. А. Оценка допустимого риска травмирования личного состава Федеральной противопожарной службы МЧС России / А. А. Кондашов, Е. Ю. Удавцова, В. А. Маштаков // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. — 2021. — № 1. — С. 40–49. https://doi.org/10.25016/2541-7487-2021-0-1-40-49

Поступила в редакцию 20.04.2022
Поступила после рецензирования 26.05.2022
Принята к публикации 26.05.2022

Об авторах:

Маштаков Владислав Александрович, заместитель начальника отдела 1.3 — начальник сектора 1.3.1 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), ORCID, otdel_1_3@mail.ru

Кондашов Андрей Александрович, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), кандидат физико-математических наук, ORCID, akond2008@mail.ru

Бобринев Евгений Васильевич, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), кандидат биологических наук, ORCID, otdel_1_3@mail.ru

Шавырина Татьяна Александровна, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), кандидат технических наук, ORCID, shavyrina@list.ru

Удавцова Елена Юрьевна, ведущий научный сотрудник отдела 1.3 НИЦ ОУП ПБ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (143903, РФ, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12), кандидат технических наук, ORCID, otdel_1_3@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

В. А. Маштаков — анализ результатов исследования, доработка текста, корректировка выводов; А. А. Кондашов — формирование основной идеи и концепции исследования, разработка цели и задач исследования, проведение расчетов, анализ и интерпретация данных, участие в написании текста рукописи, формулирование выводов; Е. В. Бобринев — научное руководство, обзор публикаций по теме статьи, участие в сборе и обработке материала, анализ результатов исследования, участие в написании текста рукописи; Т. А. Шавырина — участие в написании текста рукописи, редактирование текста, оформление окончательного варианта статьи; Е. Ю. Удавцова — разработка дизайна исследования, подготовка литературы, участие в сборе и обработке материала, участие в написании текста рукописи.